

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження визначається необхідністю підвищення ефективності процесу функціонування ТК цукрового заводу за рахунок отримання необхідної інформації в реальному масштабі часу, що дозволяє прийняти обґрунтовані корегуючі дії. Існуючі інформаційні системи управління не забезпечують повною мірою оцінки ситуацій та прогнозування їх розвитку для отримання техніко-економічних показників виробництва.

В дисертаційній роботі використано сценарно-когнітивний підхід для аналізу виробництва та підтримки прийняття рішень в різних виробничих ситуаціях на основі системного підходу, процедур декомпозиції для виділення окремих підсистем, зв'язаних між собою інтенсивними матеріальними, енергетичними та інформаційними потоками.

При управлінні технологічними комплексами виникає ряд специфічних задач, які досліджувались та опубліковані в роботах: московських вчених (наукові школи академіка Кафарова В.В. та інституту хімічного машинобудування, професори: Балакірев В.С., Володін В.М., Цірлін А.М.), а для умов харчової промисловості: Ладанюка А.П., Трегуба В.Г., Кишенька В.Д., Перепечаєнка В.Г., Власенко Л.О., Прокопенко Т.О. Розробка методів ситуаційного управління для технологічного комплексу цукрового заводу дає можливість приймати обґрунтовані оперативні рішення, що безпосередньо пов'язано з економією енергетичних та матеріальних ресурсів. Таким чином, виконана робота є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності до планів держбюджетних науково-дослідних робіт кафедр інформаційних систем, автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації процесів управління Національного університету харчових технологій «Наукові основи створення автоматизованих систем управління для комп'ютерно-інтегрованих виробництв харчової промисловості» (номер державної реєстрації 0112U001496). Автор приймала безпосередню участь у виконанні держбюджетних робіт: «Розробити основи ресурсоощадного інтелектуального керування біотехнологічними процесами з використанням багатоагентних сценарно-когнітивних моделей», номер державної реєстрації 0107U000223 (2007-2009 рр.), «Розробити ефективні структури управління біотехнологічними комплексами в класі організаційно-технологічних систем», номер державної реєстрації 0109U008311(2010-2011рр.).

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування технологічного комплексу цукрового заводу за рахунок вдосконалення інформаційної системи управління з використанням інтелектуальних методів та технологій.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати задачі:

- системно-технічний аналіз технологічного комплексу та показників його функціонування;

- вибір та обґрунтування методів інтелектуального управління;
- аналіз видів невизначеності інформаційних потоків, ситуацій функціонування технологічного комплексу та його підсистем;
- формування критеріїв управління та показників ефективності функціонування технологічного комплексу та його підсистем;
- розробка методів інтелектуального управління технологічним комплексом цукрового заводу та його підсистем;
- розробка алгоритмічного та програмного забезпечення інформаційної системи інтелектуального управління.

Об'єктом дослідження є технологічний комплекс цукрового заводу.

Предметом дослідження є інформаційні технології для побудови системи управління технологічним комплексом в умовах невизначеності.

Наукова новизна. При розв'язанні поставлених задач одержані нові наукові результати:

- вперше для технологічного комплексу цукрового заводу в класі організаційно-технологічних систем сформовано комплекс інтелектуальних методів для інформаційної системи управління в умовах невизначеності (методи оцінки ситуацій; аналіз часових рядів на основі вейвлет-аналізу та нейронних мереж; використання нечітких когнітивних карт та мереж);
- вперше для технологічного комплексу цукрового заводу та його підсистем формалізовано на основі нечіткої логіки відношення між основними чинниками, які визначають технологічні та техніко-економічні показники ефективності функціонування з використанням когнітивних карт;
- вперше ідентифіковано процеси виробництва цукру на основі нейро-нечіткої моделі у вигляді залежностей продуктивності заводу за цукром та його втрат від кількості перероблених буряків, відкачки дифузійного соку, витрат вапняного молока та води на промивку фільтрувального осаду;
- удосконалено методику дослідження стану об'єкта на основі комплексу методів статистичного аналізу, в тому числі дескриптивного, технологічних змінних у вигляді часових рядів, використання контрольних карт Шухарта, нейронних мереж Кохонена, вейвлет-аналізу;
- удосконалено процедури координації підсистем технологічного комплексу на основі ситуаційного підходу (отримано патент України на корисну модель №73051 від 10.09.2012р.);

Практичне значення отриманих результатів. Результати досліджень можуть використовуватись при аналітичному аналізі функціонування технологічного комплексу, розробці проектів інформаційних систем управління та прийнятті рішень в умовах невизначеності. Практичне значення результатів роботи підтверджено довідками про можливість їх використання від цукрового заводу, спеціалізованого підприємства з розробки та впровадження систем управління та використання в навчальному процесі.

Апробація роботи. Основні результати досліджень доповідались і обговорювались на наукових конференціях Національного університету харчових технологій 2010-2013рр.; Міжнародних конференціях з

автоматичного управління «Автоматика-2011» (м. Львів) та «Автоматика-2012» (м. Київ), Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (Кіровоград, 2011р.) та «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (Харків, 2011р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 20 друкованих праць, в яких викладено основний зміст виконаних досліджень, з них 2 статті в міжнародних журналах, 8 у фахових виданнях, один патент на корисну модель, 9 тез доповідей на науково-технічних конференціях.

Структура та об'єм дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, списку літератури з 143 найменувань і 13 додатків. Повний обсяг дисертації 218 стор., з яких основний зміст викладено на 161 стор. друкованого тексту, містить 66 рисунків, 20 таблиць.

Особистий внесок у розробку наукових результатів. Усі основні положення та результати дисертаційної роботи, що захищаються, одержані автором самостійно. В публікаціях у співавторстві особистий внесок автора полягає в наступному: в [1,3] ситуаційний аналіз та сценарно-цільове управління ТК, в [2,4,5] формування критеріїв ефективності та системи оцінки процесу функціонування, в [6,7,8] методи та моделі аналізу часових рядів та системної координації підсистем ТК, в [9,10,11] методи інформаційного забезпечення задач прогнозування техніко-економічних показників та функціонального моделювання технологічних процесів, в [13,14,15] методи використання багатоагентних систем, комбінованих критеріїв в структурі MES-систем, в [16-20] основні положення управління ТК в класі організаційно-технологічних систем, використання нечітких когнітивних карт та оцінки недостовірних знань в системах управління.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Показана актуальність роботи, яка визначається необхідністю розробки інформаційної системи управління технологічним комплексом цукрового заводу для підвищення ефективності його функціонування в умовах невизначеностей. Наведено дані про зв'язок досліджень за темою дисертаційної роботи з науковими програмами, планами і темами Національного університету харчових технологій (кафедри інформаційних систем, автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації процесів управління). Визначено об'єкт та предмет досліджень, сформульовано мету та задачі досліджень, наукову новизну та практичне значення результатів роботи. Наведено інформацію про структуру та об'єм роботи, публікації та особистий внесок автора дисертації.

В першому розділі наведено загальну характеристику ТК цукрового заводу як складної хіміко-технологічної системи. В складі ТК виділено три підсистеми (дифузійне відділення, очистки дифузійного соку, випарювання), кожна з яких характеризується своїми критеріями та комплексами показників функціонування. Виділені підсистеми є визначальними для всього ТК, на яких формуються основні технологічні та техніко-економічні показники роботи

заводу, є основними споживачами матеріальних та енергетичних ресурсів, на них формуються основні інформаційні потоки. З урахуванням цього показано, що для підвищення ефективності функціонування необхідно покращити методи оцінки стану об'єкта, вдосконалити методи прийняття рішень в структурі інформаційної системи управління з оперативним використанням технологічної та техніко-економічної інформації.

Аналіз структури ТК, системи управління, особливостей його функціонування дозволив зробити висновок, що технологічний комплекс цукрового заводу доцільно розглядати як один клас організаційно-технічних (технологічних) систем (ОТС) з характерними ознаками, який функціонує в умовах невизначеності. При розв'язанні задач аналізу, синтезу та управління в класі ОТС комплексно використовуються детерміновані (чіткі) та якісні ознаки та моделі, зокрема нечіткі моделі управління «ситуація-дія» та «ситуація-стратегія управління-дія» на основі нечітких когнітивних карт.

Методологія синтезу систем управління ОТС ґрунтується на принципах інтелектуальності, інформаційної універсальності, відкритості, сумісності компонентів (внутрішній інтерфейс, рекурсивність та ітеративність процедур).

Одним з найбільш важливих підходів до підвищення ефективності функціонування ОТС є використання методів інтелектуального управління, які передбачають отримання та аналіз необхідних знань про об'єкт на основі сучасних технологій управління об'єктом з можливістю прогнозування результатів, покращення показників якості управління на тривалих інтервалах часу тощо. Для виділеного класу об'єктів – технологічних комплексів – інтелектуальне управління ефективно реалізується в рамках теорії ситуаційного управління, що передбачає вибір рішень управління з урахуванням поточної ситуації з певної множини (набору) допустимих (типових, стандартних). В роботі наводиться структура системи ситуаційного управління, яка включає аналізатор та класифікатор ситуацій, базу знань, вирішувач та імітатор. На цукрових заводах України останнім часом активно впроваджуються мікропроцесорні системи управління окремими об'єктами та підсистемами з елементами управління виробництвом, тому для використання інтелектуальних методів існують науково-технічні передумови. Ці методи можуть ефективно доповнювати та значно розширювати функціональні можливості існуючих систем управління різного рівня та призначення.

В технічній літературі до основних методів побудови сучасних систем управління крім класичних відносять: нечітку логіку, нейронні мережі, нечіткі когнітивні карти, генетичні алгоритми тощо. В роботі показано, що при створенні інформаційних систем управління необхідно враховувати невизначеності інформації: недостатня точність оперативної інформації щодо поточних значень технологічних змінних та техніко-економічних показників; неточність моделей об'єктів та застосування нечітких моделей; нечіткість прийняття рішень в ієрархічних системах та ітеративний характер їх узгоджень; наявність ОПР та використання нею нечіткої, ненадійної, невизначеної інформації. В технічній літературі наводяться дані щодо помилкових рішень,

пов'язаних з неточностями: початкових даних (82-84%), моделі (14-15%), метода (2-3%). Для математичних моделей виділяються окремо невизначеності: статистична, нечітка, хаотична, узагальнена.

Таким чином, розробка методів, способів, алгоритмів та програмного забезпечення для інформаційних систем управління ТК дає можливість підвищити ефективність їх функціонування.

В другому розділі викладено концептуальні основи створення інформаційної системи управління ТК та формування комплексу задач для окремих підсистем та ТК. Виконано техніко-економічний аналіз функціонування ТК, показані його характерні особливості: сезонність виробництва, висока вартість сировини, необхідність забезпечення мінімальних втрат цільового продукту при жорстких обмеженнях на енергоносії, нестационарність процесів. Системний аналіз ТК та процесу його функціонування показав, що оптимізація технологічних режимів та зміна матеріальних потоків між підсистемами можуть бути зведені до статичних (квазістатичних) задач, коли збурення мають період зміни сумірний з горизонтом управління, а час перехідних процесів суттєво менший періоду оперативного управління. Наближеною оцінкою можливості існування квазістатичного режиму є умова:

$$\omega_{zp} < \frac{1}{T_s}, \quad (1)$$

де ω_{zp} – гранична частота випадкового стаціонарного процесу $Z(t)$ (збурення); T_s – відповідно нижня та верхня оцінки тривалості перехідних процесів.

Для технологічного комплексу визначено оптимальний рівень автоматизації за конкретних умов:

$$n = \arg \max E_{pi}(P) \quad \text{при } \Omega_u, X_k \in \Omega_x \quad (2)$$

де: $\zeta, \Omega_u, \Omega_x$ – відповідно вектори можливих управлінь, координат стану та множини їх допустимих значень, E_{pi} – річний економічний ефект.

В роботі показано, що для ТК існує мінімальний інтервал управління, однозначно зв'язаний з характером та інтенсивністю збурень, які у відповідності з процесом функціонування для умов харчової промисловості можна класифікувати так:

$$\zeta = \{Z_c, Z_{\Pi}, Z_p, Z_{\text{зб}}, Z_{\text{зд}}\}, \quad (3)$$

де: Z_c – зміна кількісних та якісних характеристик сировини; Z_{Π} – зміна постачання матеріальних та енергетичних ресурсів; Z_p – збурення, пов'язані з ремонтом технологічного обладнання; $Z_{\text{зб}}$ – зміна збуту товарної продукції; $Z_{\text{зд}}$ – зміна завдання на виробництво товарної продукції.

Для інформаційної системи управління сформовано комплекс критеріїв, які характеризують ефективність ТК та його підсистем. Для цукрового виробництва формування прибутку на кінцевому інтервалі $t_2 - t_1$ визначається виразом:

$$P = \int_{t_1}^{t_2} (B\Pi_0 + G_M\Pi_M + G_{ж}\Pi_{жс} - \sum_{i=1}^8 Z_i) dt, \quad (4)$$

де: – вихід товарного цукру, т/год; $\Pi_M, \Pi_{жс}$ – оптові ціни цукру, меляси та жому відповідно, грн/т; $G_{жс}$ – вихід меляси та жому відповідно, т/год; $\sum_{i=1}^8 Z_i$ – сумарні затрати, грн/год, що складаються з витрат: – на сировину; – на допоміжні матеріали; – на паливо, що йде на виробництво пари; – на паливо, що йде на виробництво електроенергії; – на основну та додаткову заробітню плату; – на утримання та експлуатацію обладнання; – цехові витрати; – загальнозаводські витрати.

Аналіз затрат показує, що без особливих припущень можна вважати, що \div не залежать від технологічного режиму, тому вони розглядаються як умовно-постійні. В подальшому розглядаються лише технологічні складові прибутку.

Для кожної з підсистем показники економічності приводяться до одного виду, наприклад, для процесу екстрагування цукру з буряків економічність має вигляд:

$$E_1 = \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{G_{CT}\Pi_0}{100} (C_x - P_{жс} - P_{ф} \frac{G_{\delta}\Pi_{\delta}}{G_{CT}}) - G_{\delta}\Pi_{\delta} + D\delta_m D\delta_{\deltaс} (100 - D\delta_0) H C_{\delta} \left(\frac{\Pi_M}{100} - \Pi_0 \right) + \frac{D\delta_m}{(100 - D\delta_m)(100 - D\delta_0) D\delta_0} - \frac{G_c(1 + K_1)}{K_2 K_3} \left(1 - \frac{CP_c}{CP_{спр}} \right) \Pi_{yn} - G_B \Pi_B G_c \right) dt, \quad (5)$$

де: – вміст цукру в стружці; – втрати цукру з жомом; – втрати цукру в результаті ферментативного та мікробіологічного розкладення; $D\delta_{\deltaс}, D\delta_0$ – відповідно доброякісність меляси; дифузійного соку; соку після очистки; δ – вміст несахарів в дифузійному соці; $CP_{спр}$ – вміст сухих речовин в соці та сиропі.

Виконано декомпозицію глобального критерію управління на частинні у вигляді критеріального дерева, визначено вагові коефіцієнти вершин дерева, які характеризують важливість критеріїв, для яких побудовані функції належності. Частинні критерії використовуються при програмному забезпеченні задачі оцінки та прогнозування техніко-економічних показників функціонування ТК.

В роботі наведена багаторівнева структура підзадач управління технологічним комплексом, коли керувальні дії визначаються в дискретній множині часу, що співпадає з використанням ситуаційного підходу, тоді характерними ознаками підзадач ⁽¹⁾ є:

- підзадачі розподілені як в просторі, так і за часом;
- підзадачі можуть розв'язуватись незалежно одна від одної, якщо задано умови, викладені вище;
- постановка підзадач ⁽¹⁾ отримана формальним шляхом на основі декомпозиції загальної задачі .

Для розв'язання загальної задачі Z_{TK} на основі розв'язків підзадач $\{^{(1)}\}$ необхідно попередньо знайти оптимальні за загальним критерієм значення змінних взаємодії підсистем, тобто розв'язати задачу ситуаційної координації $^{(2)}Z_K$ підзадачами⁽¹⁾.

Для ТК ЦЗ запропоновано наступний формальний опис проблемно-цільових моделей:

$$SYS = (PRO, TAR, CR, IR, X, Y, S, CON, RO, RI, ST, T, OSC), \quad (6)$$

де параметри враховують: PRO – проблему, TAR – цілі, CR – критерії цілей системи, IR – проблемно-цільові інформаційно-аналітичні ресурси, X і Y – вхідні і вихідні параметри, S – стан системи, CON – керування, RO – зовнішні ресурси керування, RI – внутрішні ресурси керування, ST – стратегію керування, T – час, OSC – рішення оберненої задачі.

В дисертації наведено характеристики моделей управління «ситуація-дія» та «ситуація-стратегія управління-дія» і етапи їх формування. Виконано побудову бази даних та бази знань на основі нечітких логічних правил, тоді однією з головних задач є виявлення станів об'єкта управління. Для цього формуються нечіткі ситуації, здійснюється класифікація станів, формуються нечіткі логічні висновки та розробляється відповідне програмне забезпечення.

Нечіткі ситуації визначаються на основі множини ознак $\{y_1, y_2 \dots y_p\}$ значеннями яких описується ситуація (стан об'єкта, зовнішнього середовища, системи управління).

В дисертаційній роботі розглядаються три підсистеми ТК, відділення – дифузійне (включаючи отримання бурякової стружки), очистки дифузійного соку, випарювання (випарна установка). В межах технологічного комплексу при його функціонуванні можуть виникати десятки або сотні різних ситуацій, викликаних діючими чинниками, які призводять до відхилення основних показників, у тому числі техніко-економічних, від розрахункових (оптимальних) значень. В зв'язку з цим використання ситуаційно-подійних мереж на основі нечітких когнітивних карт дає можливість отримати ефективні дії управління. Наприклад, в межах бурякопереробного відділення, у тому числі з різними дифузійними апаратами (нахиленими або колонними), загальна кількість ситуацій, які потребують втручання оператора, складає понад 30. Це стосується отримання бурякової стружки різної якості, підтримання температурного режиму, значення рН, кількості та якості дифузійного соку тощо. Для кожної ситуації визначаються можливі причини, наслідки та керувальні дії, що в комплексі для кожної ситуації складає список з 10-20 позицій. Для кожної з підсистем ТК розроблені нечіткі когнітивні карти, які дозволяють за допомогою функцій належності оцінити причинно-наслідкові зв'язки між різними чинниками процесів екстрагування, очистки дифузійного соку та випарювання. Розроблена також ієрархічна нечітка ситуаційна мережа для процесу випарювання, яка включає рівні: ситуаційний, мережевий та чинників.

В третьому розділі наведені результати аналізу процесу функціонування ТК

та розробки складових інформаційної системи управління. Показано, що традиційні статистичні дані не повністю характеризують роботу ТК та не дають можливості усунути невизначеності у часових рядах та урахувати тенденції зміни основних показників та характеристик. В роботі аналізуються експериментальні реалізації (тренди) технологічних змінних як часових рядів. Це в основному зміни витрат матеріальних потоків між підсистемами ТК, які безпосередньо впливають на технологічні та техніко-економічні показники цукрового заводу (витрата буряків, бурякової стружки, витрати дифузійного соку та сиропу після випарної установки тощо). В результаті обробки експериментальних даних отримані класичні оцінки та характеристики: математичне сподівання, дисперсія, середньоквадратичне відхилення, авто- та взаємнокореляційні функції, спектральні щільності. Для поглибленого дослідження експериментального матеріалу застосовані методи описативної статистики, які дають можливість оцінити загальні тенденції, нівелюючи випадкові індивідуальні відхилення, порівнювати різні сукупності даних. Визначення вибіркового значень середнього за множиною даних, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, коефіцієнтів варіації, асиметрії та ексцесу дає можливість оцінити нормальність розподілу, невизначеність рядів спостережень та стаціонарність випадкових процесів. Використано також контрольні карти Шухарта.

Управління в умовах невизначеності потребує використання інтелектуальних технологій: нечіткої логіки, нейронних мереж, генетичних алгоритмів, асоціативного та прецедентного аналізу. В роботі часові ряди розглядаються як набір послідовних спостережень, наприклад, вимірювання технологічних змінних. Для встановлення особливості сигналів у часово-частотній області використано вейвлет-аналіз на основі комплексного вейвлета Морле. Аналізувались часові ряди технологічних змінних, наприклад, струмове навантаження на привід дифузійного апарату, витрати дифузійного соку та бурякової стружки, які мають шумову складову, що необхідно відфільтрувати. Аналітичне представлення вейвлета Морле та його перетворення задається виразами:

$$\begin{aligned} \psi(t) &= e^{-t^2/a^2} [e^{jK_0 t} - e^{-K_0^2 a^2}], \\ \hat{\psi}(w) &= a\sqrt{\pi} [e^{a^2(K_0-w)^2/4} - e^{a^2(K_0+w)^2/4}] \end{aligned} \quad (7)$$

Вейвлет Морле – плоска хвиля, модульована гаусіаною. Параметр a задає ширину гаусіани, K_0 – частота плоскої хвилі (часто приймається $a^2 = 2$; $K_0 = 2\pi$).

При ситуаційному управлінні оцінка стану об'єкта є надзвичайно важливою для прийняття рішень. В роботі для задач класифікації станів об'єкта застосована штучна нейронна мережа – карта Кохонена, що самоорганізується, і використовується для обробки даних, візуалізації багатомірних даних, аналізу часових рядів, обробки зображень тощо. Для задач кластеризації та візуального представлення даних великої розмірності карта Кохонена має два шари: вхідний з нейронів для кожного вектора вхідного

простору даних та вихідний, нейрони якого зв'язані з усіма нейронами вхідного шару за допомогою вагових векторів. Для розв'язання задачі класифікації станів використано програмний пакет Deductor Studio Academic 5.1. Для інтелектуальної обробки даних використано також процедури аналізу нечітких часових рядів.

Для ТК цукрового заводу одним з головних чинників є величина матеріальних потоків, а зміна подачі сировини (буряків) та відкачка дифузійного соку визначають всі техніко-економічні показники роботи підприємства. Ситуація, в якій знаходиться об'єкт, визначається нечіткою інформацією про сукупність значень змінних, що відповідають технологічному режиму, і формально відображається нечіткою множиною другого рівня:

$$\tilde{S} = \left\{ \mu_s \frac{(Y_i)}{Y_i} \right\}, y \in Y, \quad (8)$$

$$\mu_s(Y_i) = \left\{ \mu_{\mu_s(Y_i)} \frac{(T_j^i)}{T_j^i} \right\}, j \in J, i \in I,$$

де: $Y = \{Y_1, Y_2 \dots Y_K\}$ – множина технологічних змінних. Кожна змінна $y_i (i \in I = \{1, 2 \dots K\})$ описується відповідною лінгвістичною змінною (Y_i, T_i, E_i) , де

$T_i = \{T_1^i, T_2^i \dots T_m^i\}$ – терм-множина Y_i лінгвістичної змінної, E – базова множина змінної Y_i .

При оцінці станів об'єктів необхідно мати інформацію про матеріальні потоки, які є керувальними діями при регулюванні технологічних режимів для досягнення необхідних техніко-економічних показників.

На рис.1 та рис.2 показані функції належності лінгвістичних змінних «зміна витрат» та «витрати».

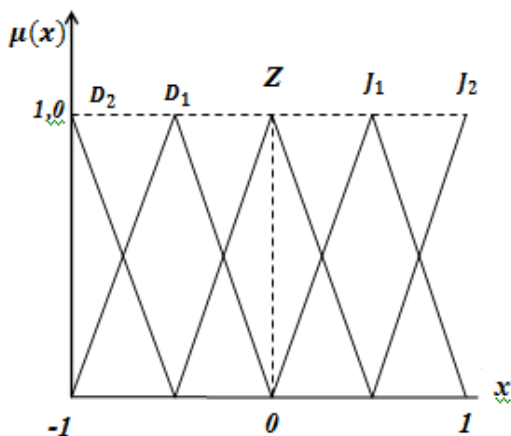


Рис.1. Терм множини лінгвістичної змінної «зміна витрат»

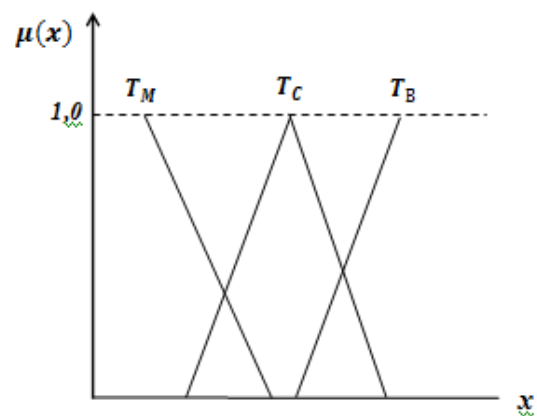


Рис.2. Терм множини лінгвістичної змінної «витрата»

На рис.1 позначено: D_2 – «значно зменшити», D_1 – «дещо зменшити», Z – «не змінювати», J_1 – «дещо збільшити», J_2 – «значно збільшити». На рис.2 позначено: T_M – «мала», T_C – «середня», T_B – «велика», функції належності

мають трикутну форму, а в конкретних випадках може бути інша форма, наприклад експоненційна.

В дисертації розроблена нечітка когнітивна карта для аналізу функціонування ТК. За основу розробки узагальненої нечіткої когнітивної карти приймається підхід, коли виділяються вхідні та вихідні змінні, а зв'язки описуються нечіткими правилами. На множині концептів C нечіткої причинно-наслідкової мережі $G = (C, W)$ виділяється множина вхідних дій $X = \{x_1, x_2 \dots x_n\}$, множина вихідних дій $Y = \{y_1, y_2 \dots y_m\}$ та проміжні концепти $E = \{e_1, e_2 \dots e_p\}$, а також множина зв'язків між концептами $W = \{w(C_i, C_j)\}$, $W \in [0;1]$. Ці зв'язки відображають степінь взаємного впливу одного концепту на інший та можуть приймати лише позитивне значення.

На основі проведених досліджень структури ТК та його функціонування розроблена база даних, наведено також приклад формування бази знань на основі продукційних моделей, які використовують експертну інформацію та результати аналізу розроблених нечітких когнітивних карт.

В четвертому розділі наводяться результати, які отримані при виконанні дисертаційної роботи, та можуть використовуватись в аналітичному аналізі процесу функціонування ТК та при формуванні рішень керування. Передбачається, що результати роботи будуть входити до інтелектуальної підсистеми підтримки прийняття рішень в складі інтегрованої системи, яка вже функціонує на заводі. Програмна та технічна сумісність між підсистемами забезпечується використанням мережі Ethernet і стандартних технологій доступу до даних OPC та ODBC. Загальна структура системи наведена в дисертації та включає АСУТП підсистем, АРМ лабораторії, диспетчерсько-координуючу станцію, технологічний сервер.

В роботі розроблена база даних, в якій для інформаційного забезпечення системи використано програмний продукт ERWinModeler у вигляді ERD – діаграми, яка включає інформаційні об'єкти, їх характеристики та зв'язки між ними. Програмне забезпечення складається з двох частин: база даних, яка зберігається на сервері БД MSSQLServer, та клієнтський додаток для роботи БД, розроблений в Delphi. В додатках наведені Screenshots (ім'я сервера, провайдер даних, зміст БД, словники, підсистеми, зв'язки між ними, функції та обладнання підсистем, їх параметри, запис інформації від систем автоматизації). Для кожної підсистеми визначено характеристики функцій, які реалізуються з відображенням назви технологічного обладнання, задач, параметрів контролю, діапазону зміни сигналу та допустимої похибки.

Для формування бази знань обрано продукційні моделі, які використовують експертну інформацію та розроблені попередньо нечіткі когнітивні карти.

Для однієї з підсистем ТК (дифузійної установки) розроблена інтелектуальна підсистема управління витратою дифузійного соку з урахуванням втрат цукру та якості бурякової стружки. Задача розв'язана на основі продукційної моделі знань та алгоритму логічного висновку Мамдані з використанням експериментальних даних, отриманих на кількох цукрових заводах України.

Для кожного входу і виходу отримано функції належності, уточнені бази правил для нечіткої системи, реалізовано алгоритм нечіткого висновку.

Алгоритм Мамдані (Mamdani) включає такі процедури:

1. Нечіткість: знаходяться ступені істинності для передумов кожного правила: $A_1(x_0)$, $A_2(x_0)$, $B_1(y_0)$, $B_2(y_0)$, де A_i і B_i – нечіткі множини.

2. Нечіткий висновок: знаходяться рівні «відсікання» для передумов кожного з правил (з використанням операції \min):

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= A_1(x_0) \wedge B_1(y_0), \\ \alpha_2 &= A_2(x_0) \wedge B_2(y_0),\end{aligned}\quad (9)$$

3. Операція логічного мінімуму (\min), знаходяться відсічені функції належності де через « \wedge », як і раніше, позначено:

$$\begin{aligned}C_1'(z) &= (\alpha_1 \wedge C_1(z)), \\ C_2'(z) &= (\alpha_2 \wedge C_2(z)).\end{aligned}\quad (10)$$

4. Композиція: з використанням операції \max (що позначається як « \vee ») виконується об'єднання знайдених усічених функцій, що приводить до одержання підсумкової нечіткої підмножини для змінної виходу з функцією приналежності:

$$\mu_\Sigma(z) = C(z) = C_1'(z) \vee C_2'(z) = (\alpha_1 \wedge C_1(z)) \vee (\alpha_2 \wedge C_2(z)).\quad (11)$$

5. Нарешті, приведення до чіткості (для знаходження z_0) проводиться, наприклад, центроїдним методом (як центр ваги для кривої $\mu_\Sigma(z)$):

$$z_0 = \frac{\int \mu_\Sigma(z) dz}{\int \mu_\Sigma(z) dz} \quad (12)$$

Практична реалізація системи показана у вигляді такої параметричної структури рис. 3:

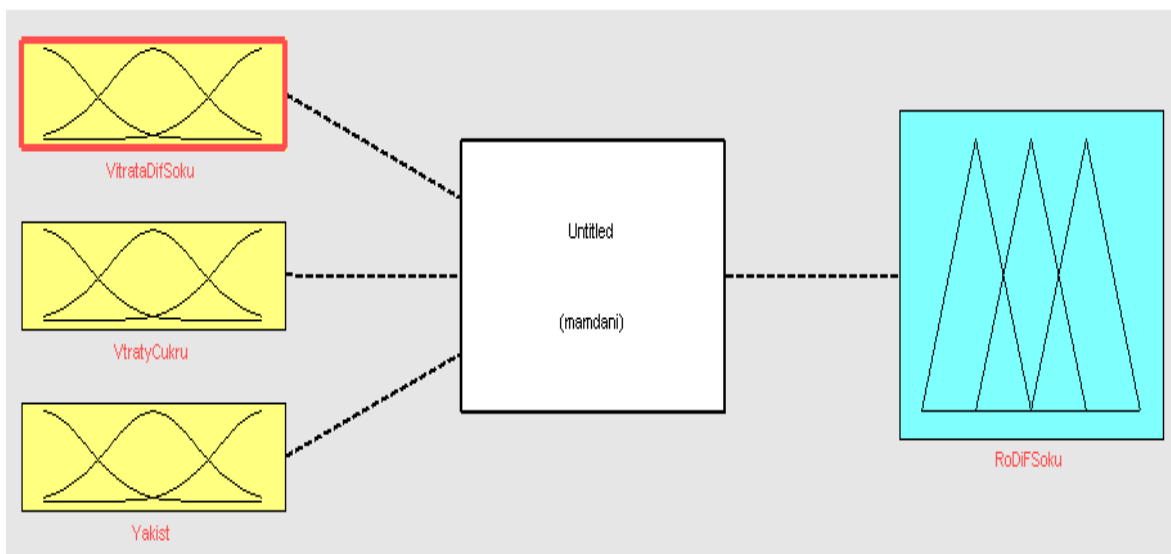


Рис. 3. Параметрична структура нечіткої системи логічного висновку

Поверхня відгуку, яка ілюструє залежність втрат цукру від витрати дифузійного соку та якості стружки (проекція I) показана на рис.4.

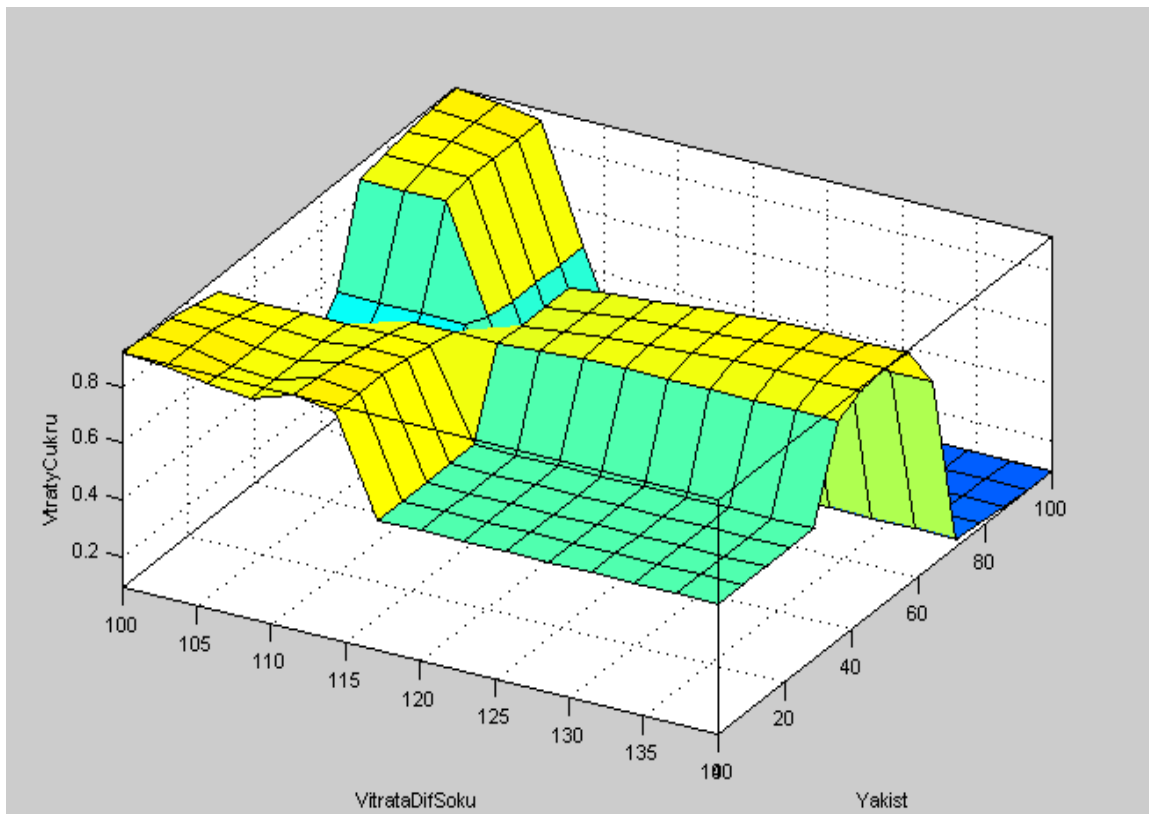


Рис. 4. Поверхня відгуку, що ілюструє залежність втрат цукру від витрати дифузійного соку та якості стружки (проекція I)

Для аналізу функціонування ТК на основі нейронних нечітких мереж оцінюється залежність двох основних показників: виходу цукру та його втрат в залежності від продуктивності за сировиною (буряками), відкачки дифузійного соку, витрати вапняного молока та води на промивку фільтрувального осаду.

Реалізація задачі здійснена на основі логічного висновку Сугено за допомогою інструментального середовища Matlab – підсистеми розробки нейромережових структур ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System) – адаптивної мережі нечіткого висновку.

ANFIS реалізує систему нечіткого висновку Сугено у вигляді п'ятишарової нейронної мережі прямого поширення сигналу. Призначення шарів наступне: перший шар - терми вхідних змінних; другий шар - антецеденти (посилки) нечітких правил; третій шар - нормалізація ступенів виконання правил; четвертий шар - висновку правил; п'ятий шар - агрегування результату, отриманого за різними правилами.

На основі експериментальних даних здійснено побудову нейро-нечіткої структури (рис.5) в якості типу функцій належності обрані дзвоноподібні функції належності, оскільки вони дозволяють відтворити достатню адекватність розроблюваної нейро-нечіткої моделі :

$$\mu_r(x_i) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_i - c}{a} \right|^{2b}}, \quad (13)$$

де: a, b і c – параметри налаштування функцій належності.

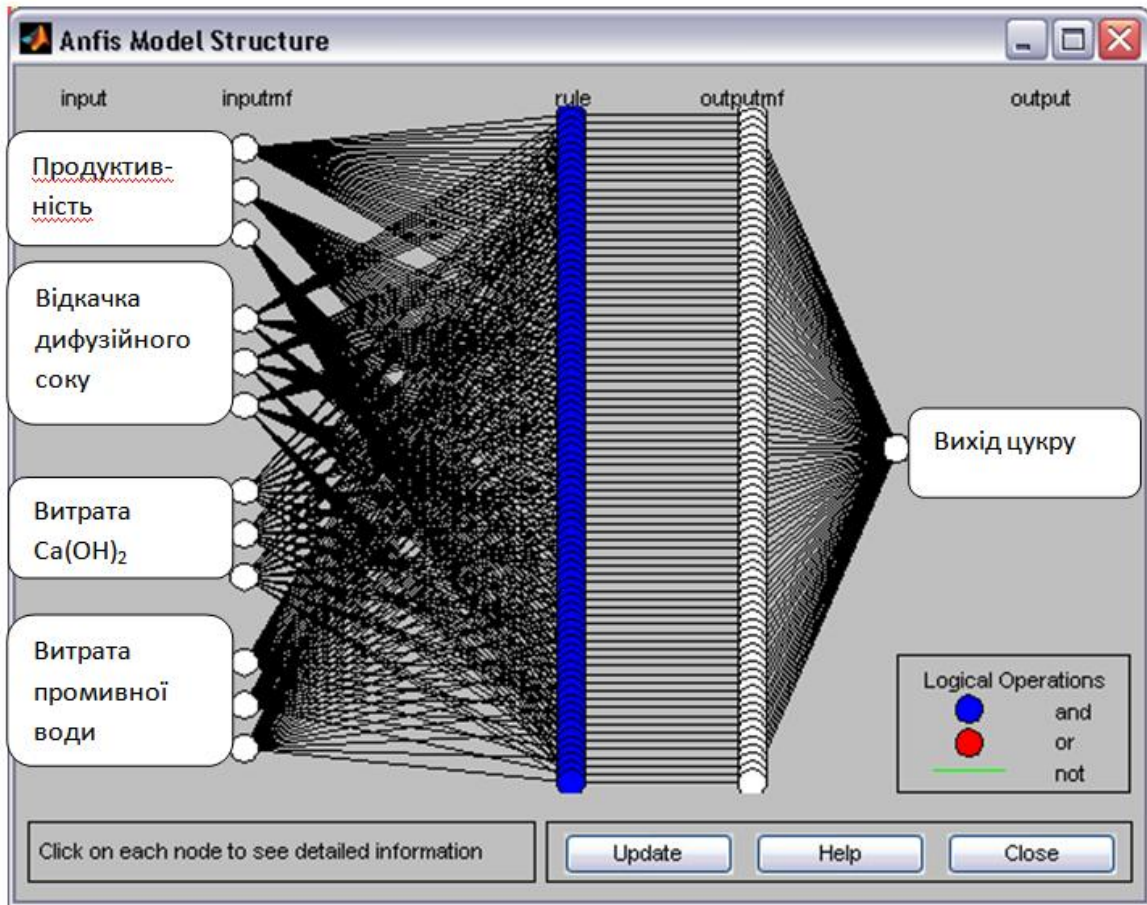


Рис. 5. Структура нейро – нечіткої мережі для ідентифікації причинно-наслідкових зв'язків оцінки процесу виробництва цукру

За результатами роботи отримано патент на корисну модель №73051 від 10.09.2012р. «Система автоматизації процесів координації підсистеми технологічного комплексу цукрового заводу з використанням ситуаційного управління». Запропонована структура включає блоки: координатор, класифікатор, база знань, розв'язувальний аналізатор. При виникненні нештатної ситуації вона порівнюється з еталонною і через координатор формується дія управління у вигляді зміни технологічного режиму та (чи) матеріальних потоків між підсистемами. Якщо у базі знань подібної еталонної ситуації немає, то координатор на основі алгоритму прогнозування взаємодій прогнозує дію керування на кілька кроків вперед, і при вдалому прогнозі рішення заноситься до бази знань.

Наведені результати дослідження зміни техніко-економічних показників підприємства на основі нечіткої когнітивної карти, для чого використаний програмний засіб «Канва» рис.6.

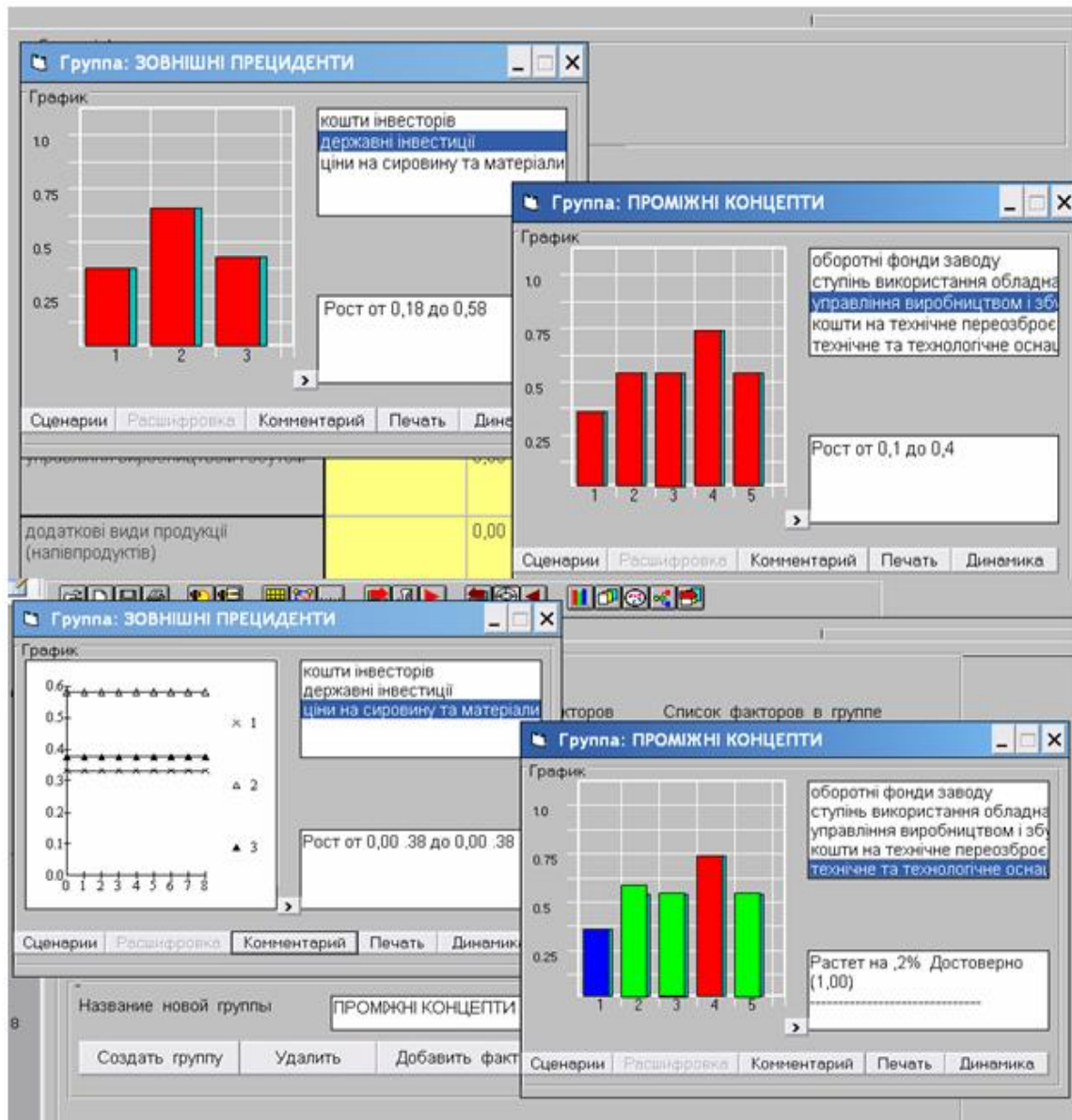


Рис. 6. Результати дослідження нечіткої когнітивної карти

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

У дисертаційній роботі запропоноване нове рішення науково-технічної задачі підвищення ефективності функціонування технологічного комплексу цукрового заводу за рахунок вдосконалення інформаційної системи управління з використанням інтелектуальних методів та технологій. Застосування цих методів забезпечує підвищення оперативності прийняття рішень управління в умовах невизначеності.

1. На основі системно-технічного аналізу ТК ЦЗ та показників його функціонування в класі організаційно-технологічних систем сформовано комплекс інтелектуальних методів для інформаційної системи управління, які на відміну від існуючих підходів застосовані для окремих підсистем та ТК в цілому.
2. Вперше комплекс інтелектуальних методів застосовано для оцінки

ситуацій, визначення стану об'єкта, дослідження часових рядів у вигляді числових значень технологічних змінних (методи нечітких множин, вейвлет-аналіз, нечіткі когнітивні карти та мережі, нейронні мережі).

3. Для умов функціонування ТК оцінено умови виникнення невизначеності як неповноти та недостовірності інформації, яка використовується для прийняття рішень, наявності випадкових чинників, невизначеності математичних моделей (статистична, нечітка, хаотична, узагальнена). Для отримання та обробки необхідної інформації неточності складають: для початкових даних, у тому числі при оцінці ситуацій – 82-84%, моделі – 14-15%, методу – 2-3%.
4. Для ТК та його підсистем сформовано загальні показники ефективності, які мають техніко-економічний характер та частинні технологічного змісту.
5. Вперше ідентифіковано процес виробництва цукру на основі нейро-нечіткої моделі, яка відображає причинно-наслідкові зв'язки між узагальненими показниками ТК (продуктивність, втрати цукру) та загальними технологічними (за кількістю сировини, відкачки дифузійного соку, витрати вапняного молока та води на промивку фільтраційного осаду).
6. Удосконалено методику дослідження ситуацій та стану об'єкта на основі статистичних даних, у тому числі дескриптивного аналізу, дослідження часових рядів, у вигляді послідовності значень технологічних змінних, використання контрольних карт Шухарта, нейронних мереж Кохонена.
7. Розроблено метод ситуаційної координації підсистем ТК (патент України на корисну модель №73051 від 10.09.2012р.), який в сукупності з нечіткими когнітивними картами може ефективно використовуватись в інформаційній системі управління ТК.
8. Розроблені підсистеми інформаційного забезпечення задач оцінки стану об'єкта, управління витратою матеріальних потоків, база даних та база знань з відповідним програмним забезпеченням.
9. Практичне значення результатів роботи підтверджено довідками про можливість їх використання від цукрового заводу, спеціалізованого підприємства з розробки та впровадження систем управління та використання в навчальному процесі.

Основний зміст дисертації викладено в опублікованих роботах:

1. Ладанюк А.П. Ситуационное координирование подсистем технологических комплексов непрерывного типа/ А.П. Ладанюк, Д.А., Шумыгай, Р.О. Бойко// Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики», 2013 №4. с.117-122.

2. Ладанюк Р.О. (Бойко) Информационная корпоративная система оперативной оценки эффективности сахарного производства // Р.О. Ладанюк, Л.Г. Загорская // XXIV Международная научная конференция.

Математические методы в технике и технология (ММТТ – 24). Сборник трудов, том 6 – Саратов: 2011, с. 15-17.

3. Ладанюк А.П. Проблемы системного сценарно-цільового управління технологічним комплексом цукрового заводу / А.П. Ладанюк, Л.О. Власенко, Р.О. Бойко // Загальнодержавний міжвідомчий збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 41, частина I, – Кіровоград: КНТУ, 2011. с. 188-194.

4. Ладанюк Р.О. (Бойко) Інформаційна корпоративна система оцінки ефективності цукрового виробництва / Р.О. Ладанюк (Бойко), Л.Г. Загорівська // Восточно-европейский журнал передовых технологий, № 1/4 (43): 2010. с. 49-51.

5. Бойко Р.О. Система управління технологічним комплексом цукрового заводу з використанням комбінованого критерію ефективності / Р.О. Бойко, Л.Г. Загорівська // Восточно-европейский журнал передовых технологий, № 6/9 (54): 2011. с. 58-60.

6. Ладанюк А.П. Системна задача координації в технологічних комплексах неперервного типу / А.П. Ладанюк, Д.А. Шумигай, Р.О. Бойко // Збірник наукових праць. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, вип. 25, частина I – Кіровоград: КНТУ, 2012. с. 288-294.

7. Ладанюк А.П. Проблемы системного сценарно-цільового управління технологічним комплексом (ТК) цукрового заводу / А.П. Ладанюк, Л.О. Власенко, Р.О. Бойко // VIII-а Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки», – Кіровоград: КНТУ, 2011.

8. Бойко Р.О. Оцінка стану складного об'єкта на основі аналізу часових рядів / Р.О. Бойко, Л.О. Власенко // Наукові праці НУХТ № 42 – Київ: НУХТ, 2012. с. 6-10.

9. Ладанюк А.П. Інформаційне забезпечення задачі оцінки стану складного технологічного об'єкта / А.П. Ладанюк, Л.О. Власенко, Р.О. Бойко // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України, вип. 117 – Харків: ХНТУСГ, 2011. с. 73-74.

10. Бойко Р.О. Інформаційне забезпечення задачі прогнозування техніко-економічних показників функціонування технологічного комплексу/ Р.О.Бойко, Л.Г. Загорівська, Т.В. Ярова // Восточно-европейский журнал передовых технологий, № 3/10 (63): 2013. с. 62-64.

11. Загорівська Л.Г. Функціональне моделювання процесу виготовлення цукру на основі методології структурного аналізу та проектування/ Л.Г. Загорівська, Д.О.Миронець, Р.О. Бойко// Восточно-европейский журнал передовых технологий, № 6/4 (60): 2012. с. 18-21.

12. Shumygai D. Coordination of Technological complex subsystems of sugar mill considering the doubtful information/ D.Shumygai, R.Boyko// Ukrainian food journal. – № 1– 2012 – P. 75-79.

13. Ладанюк А.П. Патент на корисну модель №73051 Система автоматизації процесів координації підсистем технологічного комплексу цукрового заводу з використанням ситуаційного управління// А.П. Ладанюк, Д.А. Шумигай, Р.О. Бойко// Бюл. №17, 2012.

14. Ладанюк Р.О. (Бойко). Комбінований критерій ефективності інформаційної системи управління технологічним комплексом цукрового заводу / Р.О. Ладанюк (Бойко), Л.Г. Загоровська // Автоматика – 2011. XVIII Міжнародна конференція з автоматичного управління. Матеріали конференції – Львів: видавництво Львівської політехніки, 2011. с. 201.

15. Ладанюк Р.О. (Бойко). Управління виробництвом на основі MES – систем / Р.О. Ладанюк (Бойко), Л.Г. Загоровська // Міжнародна науково – технічна конференція. Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно – технологічними комплексами – Київ: НУХТ, 2009. с. 102.

16. Ладанюк Р.О. (Бойко). Формування бази даних для підсистеми оцінки ефективності виробництва / Р.О. Ладанюк (Бойко), Л.Г. Загоровська // 76-а Наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів, частина III – Київ: НУХТ, 2010. с.119-120

17. Ладанюк Р.О. (Бойко). Використання технології багатоагентних систем для розробки підсистем підтримки прийняття рішень заводу / Р.О. Ладанюк (Бойко), Л.Г. Загоровська // 77-а Наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів, частина 2 – Київ: НУХТ, 2011. с.118

18. Бойко Р.О. Особливості використання недостовірних знань в експертній системі управління технологічним комплексом цукрового заводу/ Р.О. Бойко// 78-а Наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів, – Київ: НУХТ, 2012.

19. Бойко Р.О. Управління технологічним комплексом в класі організаційно-технологічних систем/ Р.О. Бойко, О.А.Ладанюк// Автоматика/Automatics-2012 XIX Міжнародна конференція з автоматичного управління. – К: НУХТ 2012. –с. 349.

20. Бойко Р.О. Використання нечітких когнітивних карт в системі управління технологічним комплексом/ Р.О. Бойко// 79-а Наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів, – Київ: НУХТ, 2013.

Анотація

Бойко Р.О. Інформаційні технології управління технологічним комплексом цукрового заводу в умовах невизначеності. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». Національний університет харчових технологій, Київ, 2013.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню ефективності функціонування технологічного комплексу цукрового заводу за рахунок вдосконалення інформаційної системи управління з використанням інтелектуальних методів та

технологій. На основі системо-технічного аналізу технологічного комплексу цукрового заводу (ТК ЦЗ) та показників його функціонування визначені основні напрями та методи вдосконалення інформаційного забезпечення інформаційної системи управління. Основним підходом є ситуаційно-когнітивні методи, з використанням яких розроблено нечіткі когнітивні карти та мережі, до інтелектуальних методів віднесено: методи аналізу часових рядів з використанням нейронних мереж Кохонена, апарат нечітких множин, карти Шухарта, розробка баз даних та знань, багатоагентна структури при управлінні ТК ЦЗ та його підсистемами. Розроблено комплекс програмного забезпечення для вдосконалення систем оцінки стану об'єкта та розрахунку показників його техніко-економічної ефективності.

Ключові слова: інформаційні технології, ефективність, невизначеність, технологічний комплекс цукрового заводу, інтелектуальні методи.

Аннотація

Бойко Р.О. Информационные технологии управления технологическим комплексом сахарного завода в условиях неопределенности. - Рукопись .

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 «Информационные технологии». Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2013.

Диссертационная работа посвящена повышению эффективности функционирования технологического комплекса сахарного завода за счёт совершенствования информационной системы управления с использованием интеллектуальных методов и технологий . На основе системо-технического анализа технологического комплекса сахарного завода (ТК СЗ) и показателей его функционирования определены основные направления и методы совершенствования информационного обеспечения информационной системы управления . Основным подходом является ситуационно-когнитивные методы, с использованием которых разработаны нечёткие когнитивные карты и сети, к интеллектуальным методам отнесены: методы анализа временных рядов с использованием нейронных сетей Кохонена, аппарат нечётких множеств, карты Шухарта, разработка баз данных и знаний, многоагентной структуры при управлении ТК СЗ и его подсистемами . Разработан комплекс программного обеспечения для совершенствования систем оценки состояния объекта и расчёта показателей его технико-экономической эффективности. Диссертационная работа состоит из четырёх разделов, в которых с позиции системного подхода оценены характеристики ТК сахарного завода, показатели технико-экономической эффективности его функционирования, выделены его особенности в классе организацмонно-технологических систем, показана возможность повышения эффективности информационных систем управления в условиях неопределённости. Сформулированы концептуальные основы управления путём выделения и анализа комплекса критериев управления, математических моделей экономической эффективности работы подсистем ТК.

Разработана многоуровневая структура подзадач управления, оценены возможности использования сетевых структур при ситуационном управлении, а также, нечётких когнитивных карт. Разработаны базы данных и знаний. Для оценки состояний объекта и производственных ситуаций, выполнен статистический анализ, в том числе, дескриптивный, временных рядов как последовательностей значений технологических переменных. Для устранения неопределённостей во временных рядах, использованы вейвлет-анализ и нейронные сети Кохонена. Разработаны нечёткие когнитивные карты и сети для ТК и подсистем. Наведена функциональная структура интегрированной системы управления комплексом и её техническое обеспечение. Разработана интеллектуальная система управления расходом диффузионного сока на основе нечёткой логики, а также идентификация процессов сахарного производства на основе нейро-нечёткой сети. В рамках многоагентной структуры показана возможность использования стандартного ПИД-контроллера. Получен патент Украины («Система автоматизации процессов координации подсистем технологического комплекса сахарного завода с использованием ситуационного управления»).

Ключевые слова: информационные технологии, эффективность, неопределенность, интеллектуальные методы.

Annotation

Regina Boiko Information technology management technological complex sugar mill under uncertainty. - Manuscript .

Dissertation for the degree of Ph.D. , specialty 05.13.06 Information technology. National University of Food Technologies, Kyiv , 2013 .

The thesis is devoted to improving the efficiency of technological complex sugar mill by improving information management system using intelligent methods and technologies. Based systems and technical analysis of the technological complex of sugar fmill and the performance of its function identifies the key trends and methods to improve an information support management information system. The basic approach is situational, cognitive techniques are developed using fuzzy cognitive maps and networks to intelligent methods include: methods of time series analysis using Kohonen neural networks, fuzzy sets, Shewhart's maps, database development and knowledge structure of multi- the management of technological complex of sugar mill and its subsystems. The complex software systems to improve the assessment of the facility and the calculation of its technical and economic efficiency.

Keywords: information technology, efficiency, uncertainty, technological complex sugar factory , intelligent methods.